

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA DE BOUMERDES



FACULTE DES HYDROCARBURES

ET DE LA CHIMIE

Département Automatisation des
Procédés Industriels et Electrification



Laboratoire d'Automatique Appliquée

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du titre de Magister

OPTION : Automatique Appliquée

THEME

**Contribution à la Modélisation et à la Commande par Correcteur
Flou. Application à la Conduite d'un Procédé Thermique de la
Céramique Lourde**

Par : Mr Amar Hamdaoui

Devant les membres du Jury :

PRESIDENT :

Mr E.M. BERKOUK, Professeur, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger,

EXAMINATEURS :

Mme D. ACHELI, Maître de Conférences, FHC Université de Boumerdès,
Mr V. TOURTCHINE, Maître de Conférences, FS Université de Boumerdès,
Mr M.EL H. KHELIL, Maître de Conférences, FSI Université de Boumerdès,

RAPPORTEUR :

Mr M.S. BOUMEDINE, PhD, Chargé de cours, FHC Université de Boumerdès.

Année Universitaire 2006 / 2007

Abstract

I. ملخص :

أن إنتاج وصناعة مواد البناء و بصفة عامة نلاحظ أن مسالة تحسين عملية المعالجة منها و خاصة التي تتعلق بالتجفيف فهي مجيرة على أن تقوم بالسعي ورأ هدفين اثنان و هما:
I- استهلاك محدود للطاقة الألام،

II- صيانة الخصائص الحراروميكانيكية للمنتوج المجفف.
إن تقدم عمليات التجفيف نحو دوريات قصيرة المدى أكثر فأكثر و محصول أحسن يجبرنا أن نتعرف بأكثر دقة على جميع الظواهر الفيزيوكيميائية المختلفة التي تجرى في هذه الانشآت الصناعية إن هذه الاعتبارات قد أعطت للبحوث دفعا كبيرا على جميع مستويات عملية التجفيف ، المجفف ، المنتوج و التكلفة الاقتصادية.
يهدف عملنا هذا أساسا إلى محاولة تحسين عمل و سعة المجفف للمواد الخزفية الثقيلة و هذا يتمثل أصلى دقيق لعملية التجفيف، الهدف من ذلك هو تعيين منظر للحرارة و الرطوبة لكي نسهل بذلك تظاهر اشتغال نظام التجفيف بفرضية ثبوت الشروط،

يخضع هذا التمثيل إلى إثبات، وذلك بمقارنة النتائج المتحصل عليها بعملية التظاهر مع تلك التي هي نتيجة التجربة (منضى التحكم للشركة المنجزة للمجفف).

المرحلة الأخيرة تتضمن إعداد تمثيل رمزي مكون من كشوفات اخدت من المكان وعلى أساسها قمنا بتشكيل مراقب على أساس المنطق الغير جلي أدى بمرج و في النهاية لختبر .

إن هدى المسعى لقد أعطى نتائج مرضية خاصة بالنسبة لإثبات التسيير و ذلك بالمقارنة مع نظام التحكم القديم لعملية التجفيف.
المفاتيح: مراقب، غير جلي (غير واضح)، تمثيل، مجفف.

II. Résumé

Dans le domaine des matériaux de construction d'une façon générale, l'optimisation des opérations de traitement en l'occurrence le séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont :

- la consommation restreinte de l'énergie nécessaire ;
- la sauvegarde des propriétés thermomécaniques du produit séché.

L'évolution des procédés de séchage vers des cycles de plus en plus courts et des rendements meilleurs, impose une connaissance plus précise des différents phénomènes physicochimiques qui se déroulent dans ces installations industrielles.

Ces considérations ont conduit à de nombreux travaux et ce, aux différents niveaux du processus : le séchoir, le produit et le coût économique.

Cette étude se propose de contribuer à l'optimisation et au dimensionnement d'un séchoir de produits de la céramique lourde et ce, par une modélisation adéquate du processus de séchage en vue de déterminer le profil de température et d'humidité permettant ainsi de simuler le fonctionnement du système de séchage dans l'hypothèse de conditions constantes.

Ce modèle est ensuite soumis à une validation par confrontation des résultats de la simulation avec ceux obtenus par l'expérimentation (courbe de conduite du constructeur de l'installation). L'étape suivante consisterait en l'élaboration d'une description symbolique constituée de relevés sur site et sur la base de laquelle, un contrôleur à logique floue est configuré, implémenté et finalement testé. Cette démarche a donné des résultats satisfaisants quant à la stabilité du processus en comparaison avec la conduite classique installée.

MOTS-CLÉS : Contrôleur flou, Modélisation, Séchoir, Simulation.

III. Abstract:

During the past years, many control techniques have been developed to improve drying performances. The problem of controlling involves many practical problems which may appear as a result of a continuous change of its control parameters. The mathematical equivalent system model

will be continuously changing and therefore one controller will not be sufficient to meet the different operating system conditions.

Due to the nonlinearities of the various system components, a linear model obtained by linearization around an operating point is usually adopted to design the controller. As a result, however, because of inherent characteristics of changing loads, the system performances with controllers designed for a specific operating point will no longer be optimum.

The present work concerns the fuzzy control of a drying system. This approach is known to be model-free and utilizes the field experience with running and supervising the process by human expertise. The advices offered by the expert to run properly these systems are given in the form of recipes full of linguistics. These linguistics can be turned into linguistic variables with limited sets of labels conceived by the designer to be the primitive seeds for what is called a knowledge base.

The main objective of this study is to propose to develop a fuzzy controller to substitute the conventional "Top program" in order to obtain enhanced performances and better results. This system is controlled by a "Top program" controller acting on temperature and humidity, which are difficult to set, due to the strong two variables interdependence. The fuzzy controller is elaborated to monitor the temperature and the humidity, taking into account simultaneously the variation of these parameters.

The validation and the simulation results obtained by the present approach have led to better performances with this design compared to the usual classical control in the field of drying process of ceramic.

Key words: Drying process, Fuzzy control, Simulation.

Sommaire

AVANT-PROPOS

ABSTRACT

INTRODUCTION GENERALE

| | | |
|----|-------------------------------|----|
| 1. | Contexte de l'étude..... | 01 |
| 2. | Objectif de l'étude..... | 02 |
| 3. | Approche adoptée..... | 03 |
| 4. | Organisation du document..... | 03 |

RECHERCHE BIBLIORAPHIQUE

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Introduction..... | 05 |
| 2. | Aperçu sur la Recherche-développement sur la conduite des séchoirs à céramique..... | 06 |
| 2.1. | Instruments de contrôle dans les séchoirs..... | 06 |
| 2.2. | Les différents modèles mathématiques développés sur le séchage..... | 06 |
| 2.3. | Les modèles décrivant le comportement du produit au séchage..... | 07 |
| 2.4. | Les modèles d'optimisation du taux d'humidité..... | 07 |
| 2.5. | Les modèles d'optimisation globale du procédé de séchage..... | 08 |
| 3. | Conclusion..... | 08 |

CHAPITRE I

DESCRIPTION ET MODELISATION DU PROCEDE DE SECHAGE

| | | |
|------------|---|----|
| 1.1. | Introduction..... | 09 |
| 1.2. | Apport de la modélisation et Les difficultés de sa mise en œuvre..... | 09 |
| 1.2.1. | Modèle de connaissance..... | 09 |
| 1.2.2. | Modèle de régulation..... | 10 |
| 1.2.3. | Modèle de fonctionnement..... | 10 |
| 1.3. | Le séchoir, objet de la modélisation..... | 11 |
| 1.3.1. | Le séchoir et son environnement..... | 11 |
| 1.3.2. | Taux de séchage..... | 11 |
| 1.3.3. | Spécificités de la matière première..... | 11 |
| 1.4. | Le produit céramique et l'installation de séchage..... | 12 |
| 1.4.1. | Etapes d'élaboration des produits céramiques lourds..... | 12 |
| 1.4.2. | Le processus de séchage et l'interaction de ses paramètres..... | 12 |
| 1.4.3. | Description de l'installation de séchage..... | 13 |
| 1.4.4. | Fonctionnement du séchoir..... | 15 |
| 1.5. | Modélisation du processus de séchage..... | 17 |
| 1.5.1. | Bases de la modélisation..... | 17 |
| 1.5.2. | Considérations fondamentales..... | 17 |
| 1.5.3. | Description du cycle de séchage..... | 18 |
| 1.5.3.1. | Procédure de séchage..... | 18 |
| 1.5.4. | Transfert d'énergie et de masse..... | 18 |
| 1.5.4.1. | Chambre de mélange..... | 18 |
| 1.5.4.1.1. | Apports d'énergie: Bilan massique des entrées..... | 18 |

| | |
|---|----|
| I.5.4.1.2. Bilan massique des sorties..... | 19 |
| I.5.4.2. Générateur de chaleur | 21 |
| I.5.4.3. Les chambres de séchage..... | 21 |
| I.5.5. Méthodologie de calcul du bilan énergétique..... | 23 |
| I.5.5.1. Bilan massique de chaque chambre..... | 23 |
| I.5.5.2. Bilan énergétique de l'échangeur (séchoir)..... | 23 |
| I.5.5.3. Procédure de calcul des paramètres d'une seule chambre..... | 24 |
| I.5.5.4. Calcul des paramètres pour toutes les chambres..... | 25 |
| I.5.5.5. Calcul des paramètres du séchoir (dimensionnement du séchoir)..... | 25 |
| I.6. Conclusion..... | 27 |

CHAPITRE II

SIMULATION DU PROFIL DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE AU COURANT DU PROCESSUS DE SECHAGE DE PRODUITS CERAMIQUES

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction..... | 28 |
| II.2. Simulation du profil de température et d'humidité..... | 28 |
| II.2.1. Procédure du cycle de séchage..... | 28 |
| II.2.2. Etapes d'exécution de l'algorithme de simulation..... | 29 |
| II.2.3. Résultats de simulation..... | 32 |
| II.2.4. Variation des grandeurs d'une chambre..... | 35 |
| II.3. Validation de l'approche développée..... | 37 |
| II.3.1. Validation des résultats de simulation..... | 39 |
| II.3.1.1. Modèle expérimental du constructeur..... | 39 |
| II.3.1.2. Modèle de connaissance (modélisation-simulation)..... | 40 |
| II.4. Comparaison des courbes du modèle expérimental et simulé..... | 41 |
| II.4.1. Variation de la température..... | 41 |
| II.4.2. Variation du taux d'humidité..... | 41 |
| II.5. Conclusion..... | 42 |

CHAPITRE III

COMMANDE CLASSIQUE ET SES LIMITES, ETUDE DE L'EXISTANT

| | |
|--|----|
| III.1. Introduction..... | 43 |
| III.2. Connaissance actuelle des structures de commande des séchoirs..... | 44 |
| III.2.1. La mesure..... | 45 |
| III.2.2. Objets de commande..... | 46 |
| III.2.2.1. Les conditions de l'air..... | 46 |
| III.2.2.2. Système de chauffage..... | 46 |
| III.2.2.3. Régulation des températures de l'air..... | 47 |
| III.2.2.4. Implantation des programmes de séchage..... | 47 |
| III.3. Différentes configurations de conduite des séchoirs à céramique..... | 49 |
| III.3.1. Choix des paramètres de régulation..... | 49 |
| III.3.2. Système basé sur deux PID indépendants..... | 52 |
| III.3.3. Système basé sur le temps..... | 53 |
| III.3.4. Correction à base d'humidité moyenne..... | 53 |
| III.3.5. Système basé sur la mesure du poids de la charge..... | 54 |
| III.3.6. Système basé sur le contrôle de la T°C au sein de la charge (DTC)..... | 54 |
| III.3.7. Régulation prédictive et combinée de la T°C air sec / T°C air humide..... | 55 |

| | |
|---|----|
| III.4. La commande existante au niveau de l'entreprise, objet de l'étude..... | 56 |
| III.4.1. Procédure de régulation du séchoir à céramique..... | 56 |
| III.4.2. Commentaire..... | 58 |
| III.5. Conclusion..... | 58 |

CHAPITRE IV

MODELISATION DES CONNAISSANCES IMPARFAITES PAR LES SOUS-ENSEMBLES FLOUS : CONCEPTS FONDAMENTAUX

| | |
|---|----|
| IV.1. Introduction..... | 60 |
| IV.2. La logique floue a déjà 60 ans !..... | 60 |
| IV.3. Les ensembles flous..... | 61 |
| IV.3.1. Raisonnement en logique floue..... | 61 |
| IV.3.2. Définitions et Caractéristiques des sous-ensembles flous..... | 63 |
| IV.3.3. Les opérations sur les ensembles flous..... | 64 |
| IV.3.4. Notions de règles linguistiques..... | 65 |
| IV.3.5. Raisonnement flou..... | 66 |
| IV.4. La commande floue..... | 66 |
| IV.4.1. Généralités..... | 66 |
| IV.4.1.1. Historique..... | 66 |
| IV.4.1.2. Principe..... | 66 |
| IV.4.1.3. Propriétés..... | 67 |
| IV.5. Structure générale d'un contrôleur flou..... | 68 |
| IV.5.1. Différentes configurations d'un correcteur flou..... | 69 |
| IV.6. Les différents systèmes d'inférence floue..... | 71 |
| IV.7. Opération de fuzzification..... | 73 |
| IV.8. Base de règles d'inférence..... | 74 |
| IV.8.1. Mise en oeuvre de la base de règles..... | 74 |
| IV.9. Défuzzification..... | 75 |
| IV.10. Implémentation du correcteur flou..... | 75 |
| IV.10.1. Conversion et traitement des paramètres mesurés..... | 76 |
| IV.11. Application de la logique floue..... | 76 |
| IV.12. Conclusion..... | 77 |

CHAPITRE V

APPROCHE FLOUE POUR LA CONDUITE DU PROCEDE DE SCHAGE

| | |
|--|----|
| V.1. Introduction..... | 78 |
| V.2. Conception du correcteur à logique floue..... | 79 |
| V.2.1. Etude du système à régler et nécessité d'un correcteur flou..... | 79 |
| V.2.2. Configuration du contrôleur flou..... | 80 |
| V.2.2.1. Algorithme proposé..... | 80 |
| V.2.2.2. Identification des variables d'entrée et de sortie..... | 81 |
| V.2.2.3. Univers des discours..... | 81 |
| V.2.2.4. Définition des fonctions d'appartenance..... | 81 |
| V.2.2.5. Prise en charge du paramètre temps du déroulement du processus..... | 81 |

| | | |
|------------|--|-----|
| V.2.2.6. | Conception du moteur d'inférence..... | 81 |
| V.2.2.7. | Architecture de la boucle de régulation floue..... | 82 |
| V.3. | Construction du correcteur flou..... | 82 |
| V.3.1. | Module de fuzzification..... | 82 |
| V.3.2. | Etablissement des lois d'inférence..... | 84 |
| a) | Représentation linguistique des règles..... | 84 |
| b) | Matrice des lois d'inférences..... | 85 |
| V.3.3. | Procédé de défuzzification..... | 85 |
| V.4. | Implémentation de l'algorithme de conduite..... | 87 |
| V.4.1. | Implémentation et simulation du correcteur flou sous l'environnement Delphi..... | 87 |
| V.4.1.1. | Schéma d'implémentation en tant que simulateur..... | 87 |
| V.4.1.2. | Conception..... | 88 |
| V.4.1.3. | Procédures principales de l'algorithme de commande..... | 88 |
| V.4.1.3.1. | Quelques algorithmes décrivant les blocs précédents..... | 90 |
| a) | Acquisition de paramètres..... | 90 |
| b) | Fuzzification des valeurs acquises ou saisies..... | 91 |
| V.4.1.4. | Description de l'environnement d'implémentation..... | 91 |
| V.4.1.4.1. | Programmation orientée objet..... | 91 |
| V.4.1.4.2. | Choix du langage d'implémentation..... | 92 |
| V.4.1.5. | Présentation de l'application et des résultats..... | 92 |
| V.4.1.5.1. | L'interface principale..... | 92 |
| V.4.1.5.2. | Simulation du séchoir..... | 92 |
| V.4.1.5.3. | Régulation..... | 93 |
| V.4.1.6. | Résultats de simulation et validation du modèle symbolique avec celui simulé..... | 95 |
| V.4.2. | Implémentation sous l'environnement Matlab..... | 95 |
| V.4.2.1. | Elaboration des règles d'inférence et des fonctions de variables..... | 95 |
| V.4.2.2. | Représentation dans l'espace d'état tridimensionnel des lois surfaciques..... | 95 |
| V.4.2.3. | Test du contrôleur par application des lois d'inférence..... | 96 |
| V.4.2.4. | Simulation du correcteur sur le plan dynamique..... | 98 |
| V.4.2.4.1. | Etude en mode de régulation..... | 99 |
| V.4.2.4.2. | Etude en mode asservissement..... | 99 |
| V.5. | Validation globale des différentes réponses..... | 101 |
| V.6. | Implémentation et Conduite préconisées par un API..... | 102 |
| V.6.1. | Architecture du système de conduite du séchoir à céramique basée sur un A.P.I..... | 102 |
| V.6.2. | Programmation du contrôleur flou en pseudo-langage sur API équipé en bloc fuzzy..... | 104 |
| V.7. | Test final lors de mise en oeuvre sur l'installation..... | 104 |
| V.8. | Conclusion..... | 104 |

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

| | | |
|----|--------------------------------|-----|
| 1. | Objectifs..... | 105 |
| 2. | Résultats et Commentaires..... | 105 |
| 3. | Perspectives..... | 106 |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBGRAPHIE

| | | |
|------|--|------------|
| I. | Ouvrages sur des études théoriques et méthodologiques..... | BIBLIO-I |
| II. | Documentation et références sur des applications..... | BIBLIO-II |
| III. | Webgraphie & Courriel..... | BIBLIO-III |

ANNEXES et RECAPITULATIF DES RESULTAS
